

共同利用実施報告書(研究実績報告書)
(特定共同研究(B))

1. 課題番号 2013 -B- 04

2. 研究課題名 (和文、英文の両方をご記入ください)

和文：先端的材料科学技術による鉱物多結晶合成とそれを用いた新たな実験地球物質科学の創生

英文：Synthesis of mineral aggregates with an advanced technology in material science

3. 研究代表者所属・氏名 東京大学地震研究所・平賀岳彦

(地震研究所担当教員名) 平賀岳彦

4. 参加者の詳細 (研究代表者を含む。必要に応じ行を追加すること)

氏名	所属・職名	参加内容
平賀 岳彦	東京大学・地震研究所	試料合成・新規合成法の開拓・試料の物性評価
目 義男	物質材料研究機構・ユニット長	新規合成法の開拓
鈴木 達	物質材料研究機構・主席研究員	新規合成法の開拓
吉田 英弘	物質材料研究機構・主幹研究員	試料の物性評価
久保 友明	九州大学・准教授	試料の物性評価
西原 遊	愛媛大学・准教授	試料の物性評価
武藤 潤	東北大学・助教	試料の物性評価
小畑 正明	京都大学・名誉教授	試料の物性評価
桂 智男	パイロイト大学・教授	試料の物性評価
David L Kohlstedt	ミネソタ大学・教授	試料の物性評価
武藤 潤	東北大学・助教	試料の物性評価
山崎大輔	岡山大学	准教授
岡本敦	東北大学・工	准教授

5. 研究計画の概要 (800字以内でご記入ください。計画調書に記載した「研究計画」から変更がある場合、変更内容が分かるように記載してください。)

地質条件に近く、かつ高精度の岩石物性値（例えば、電気伝導度、クリープ強度、拡散速度）が数多くの研究グループから報告されるにつれ、グループ間での報告値に大きなズレがあることが明らかになってきた。この主な原因として、それぞれのグループで測定に用いられる試料の構造的・化学的差異が考えられる。地球物理学的観測結果を物質科学的な具体的描像に置き換える際、得られる解が物性値のズレによって全く異なってしまうなど、大きな混乱が生じている。この解決策として、構造的・化学的によく制御された理想的な岩石（鉱物多結晶体）試料を準備し、それを用いた系統的な物性測定が行われる必要があった。材料科学の新規技術を参考にすることで、岩石物性値を測定する上で理想的な鉱物多結晶体試料（高純度、高緻密、極細粒）の開発を行う。先端的材料科学技術をより積極的に導入し、さらなる理想的な実験試料の開発をする。新規な実験試料が標準試料として広く国内外の実験で用いられることで、研究グループ間の異なる測定結果の打開、そして真の地球内部特性を明らかにすることを本共同研究の目的とする。

6. 研究成果の概要 (図を含めて1~2頁で記入してください。)

キーワード (3-5程度) : オリビン、結晶軸配向、鉄の効果

かんらん岩は、地球内部の最上部マントルの岩石で、かんらん石(オリビン, $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$)を主要とする鉱物結晶粒の集合体から成る。かんらん石は、その結晶軸(a, b, c 軸)がマントル内の流動方向に対し、ある一定方向に集中する結晶軸選択配向(Crystal Preferred orientation; CPO)を起こすことが、地球表層に露出したかんらん岩やマントル内の地球物理的な観測から知られている^{[1] [2]}。CPO 発達は、岩石物性の異方性を生む。本研究では、マントル異方性の詳細を実験的に明らかにするための試料の合成を行った。粉末の合成温度、スリップキャスト成形に用いる粉体スラリーの濃度、分散剤の種類や添加量、印加磁場、焼結条件の最適化により、粒径 < 1 μm 、密度 $\geq 99\%$ の細粒緻密配向性多結晶体を得た。組織のロットゲーリング配向度は、 Mg_2SiO_4 多結晶体で 0.22, $(\text{Mg}_{1.8},\text{Fe}_{0.2})\text{SiO}_4$ 多結晶体で 0.5 であった。X 線回折パターンや結晶方位解析の結果、作製した Mg_2SiO_4 多結晶体では a 軸が、 $(\text{Mg}_{1.8},\text{Fe}_{0.2})\text{SiO}_4$ 多結晶体では c 軸が磁場印加方向と平行な一軸配向した組織が得られた。この成果は、アメリカ地球物理学会で報告し(Koizumi et al. 2014)、現在、投稿論文を準備している。

本プロジェクトで合成された Mg_2SiO_4 多結晶体を用いて、高圧下での無水・含水条件での Si および O の自己拡散実験が行われた。二次イオン質量分析計を用いて、蒸着膜(拡散源)からの拡散プロファイルが得られ、それぞれの粒界自己拡散係数およびその活性化エネルギー、活性化体積が求められた。この成果は、アメリカ地球物理学会で報告し(Fei et al. 2014)、現在、投稿論文を準備している。

本プロジェクトで合成された Mg_2SiO_4 多結晶およびサンカルロスオリビンの粉末をからの焼結体を含む・高差応力下で変形させ、そのレオロジーが調べられた。水の量と Fe の固容量がどのように転位クリープに影響を与えるかを明らかにした。この成果は、アメリカ地球物理学会で報告し(Tasaka et al. 2014)、現在、論文投稿中である。

Faul and Jackson (2007)により、試薬からゾル・ゲル法で人工的に合成したオリビン多結晶体が天然由来のオリビンよりも粘性率にして 1 ~ 2 桁固いことが報告され、オリビン多結晶体の流動則が確立されていないことが明らかになった。そこで、本プロジェクトで用いる第三の手法によって、オリビン多結晶体の合成を行い、変形実験によってその流動特性を調べた。また、先行研究の固さの違いの原因と推測される、微量な不純物を含んだオリビン多結晶体の合成と変形実験を行い、添加物が流動特性に与える影響を調べた。その中で、鉄源としての原料粉の種類最適化と、酸素分圧制御手法の開発をおこなった。添加物を含まない試料と、0.1wt%の Al_2O_3 、 CaO 、 NiO 、 TiO_2 をそれぞれ含む試料を作製した。それぞれについて変形実験を行ったところ、拡散クリープ条件下では添加物による大きな流動特性の変化は見られず、どれも Faul and Jackson (2007) の人工的に合成されたオリビン多結晶体の試料の固さと一致した。したがって、先行研究のオリビンの固さの違いは本研究で添加した不純物以外の不純物によるものと考えられる。また、オリビン多結晶体の流動特性を大きく変化させる未知の化学種が存在することを示唆している。

本プロジェクトで用いる手法をベースに、添加物として 1~2wt%の MgO 、ガラス相、 MgO 入りガラス相をそれぞれ加えたアノーサイト多結晶体試料を作製した。作製したアノーサイト多結晶体を用いて変形実験を行い、拡散クリープ条件下ではガラス相、 MgO 、 MgO 入りガラス相が純粋なアノーサイト多結晶体の粘性率をそれぞれ約 2 桁、3 桁、4 桁程度下げること明らかにした。この結果は先行研究で求められた流動特性にはガラス相と MgO の影響が含まれることを示唆し、これまで wet と dry の試料の固さの違いから実験的に求められてきた水の効果は実際の地球内部における効果とは異なる可能性があることを示唆している。この成果は、アメリカ地球物理学会で報告した(Yabe et al. 2014)。また、本試料を用いて、グリッグス変形試験機で高圧・含水条件で変形実験が行われ、下部地殻の水軟化の程度を調べる研究を行った。

7. 研究実績 (論文タイトル、雑誌・学会・セミナー等の名称、謝辞への記載の有無)

Koizumi, S., Suzuki, T. S., Sakka, Y., Hiraga, T. (2014) Synthesis of the a-axis textured forsterite aggregate using slip casting in a Strong Magnetic Field, American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, San Francisco Moscone Center, MR23C-4367 謝辞なし

H Fei, S Koizumi, N Sakamoto, M Hashiguchi, H Yurimoto, K Marquardt, N Miyajima, D., Yamazaki, T Katsura. Silicon Grain Boundary Diffusion in Forsterite and Implications to Upper Mantle Rheology. (2014) American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, San Francisco Moscone Center, MR51A-03 謝辞なし

M. Tasaka, M. Zimmerman, D. L. Kohlstedt, 2014, Microstructural development in olivine aggregates during dislocation creep under hydrous conditions, Fall Meeting, San Francisco Moscone Center, T31A-4579 謝辞なし

K. Yabe, S Koizumi, T Hiraga, High-temperature creep of fine-grained anorthite aggregate. Fall Meeting, San Francisco Moscone Center, T31A-4571 謝辞なし